

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07110572 A**

(43) Date of publication of application: **25 . 04 . 95**

(51) Int. Cl.

G03F 1/08
H01L 21/027

(21) Application number: **06105209**

(22) Date of filing: **19 . 05 . 94**

(30) Priority: **17 . 08 . 93 JP 05203234**

(71) Applicant: **DAINIPPON PRINTING CO LTD**

(72) Inventor:
MIYASHITA HIROYUKI
MORI HIROSHI
TAKAHASHI MASAYASU
HAYASHI NAOYA

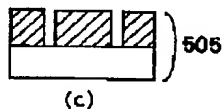
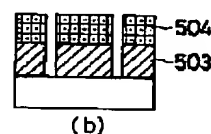
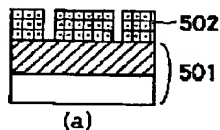
(54) **HALFTONE PHASE SHIFT MASK AND BLANK
FOR HALFTONE PHASE SHIFT MASK**

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide the halftone phase shift photomask which has sufficient transmittance to short-wavelength light and is usable for high-resolution lithography by krypton fluoride excimer laser exposing, etc.

CONSTITUTION: The layers mainly composed of a chromium compd. of the halftone phase shift photomask 505 including at least ≈ 1 layers mainly composed of the chromium compd. in the halftone phase shift layers on a transparent substrate are the compd. contg. at least fluorine atoms in addition to chromium atoms and, therefore, the prescribed or higher transmittance is obtainable in spite of the short-wavelength exposure. Since this photomask is usable for Krypton fluoride excimer laser exposing (wavelength: 248nm), etc., the high- resolution lithography is realized. The mask is formable by nearly the same method as the method for the conventional type photomasks and, therefore, the yield is improved and the cost is reduced.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7 - 1 1 0 5 7 2

(43) 公開日 平成 7 年 (1995) 4 月 25 日

(51) Int. Cl. ⁶

G03F 1/08

H01L 21/027

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A

7352-4M

7352-4M

H01L 21/30

502

P

528

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平 6 - 1 0 5 2 0 9

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 5 月 19 日

(31) 優先権主張番号 特願平 5 - 2 0 3 2 3 4

(32) 優先日 平 5 (1993) 8 月 17 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 0 0 0 0 0 2 8 9 7

大日本印刷株式会社

東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号

(72) 発明者 宮下 裕之

東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号大

日本印刷株式会社内

(72) 発明者 毛利 弘

東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号大

日本印刷株式会社内

(72) 発明者 高橋正泰

東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号大

日本印刷株式会社内

(74) 代理人 弁理士 荻澤 弘 (外 7 名)

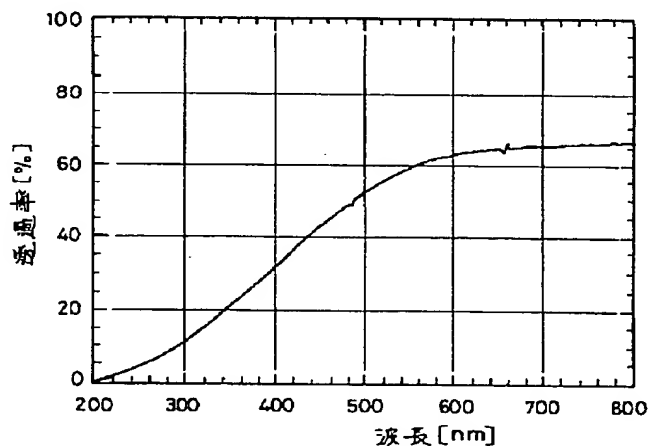
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用 blanks

(57) 【要約】

【目的】 短波長光に対して十分な透過率を有し、フッ化クリプトンエキシマレーザ露光等による高解像度リソグラフィに使用可能なハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【構成】 透明基板上のハーフトーン位相シフト層がクロム化合物を主体とする層を少なくとも 1 層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスクにおいて、そのクロム化合物を主体とする層がクロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であるので、短波長露光でも所定以上の透過率が得られ、フッ化クリプトンエキシマレーザ露光 (波長: 248 nm) 等にも使用できるため、高解像度リソグラフィが実現できる。また、従来型フォトマスクとほとんど同じ方法でマスク化できるため、歩留りの向上、コストの低減が実現できる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明基板上のハーフトーン位相シフト層がクロム化合物を主体とする層を少なくとも 1 層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスクにおいて、前記クロム化合物が、クロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記クロム化合物が、クロム原子及びフッ素原子の他に、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素の中、少なくとも 1 つの原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 において、前記クロム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を 0.1 以上に変化させない範囲で、クロム、フッ素、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素原子以外の不純物原子を含有することを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 4】 請求項 1 から 3 の何れか 1 項において、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下で示す式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン (n は奇数) の範囲となるように形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

$$\phi = \sum_{k=1}^{n-1} x^{k,k+1} + \sum_{k=2}^{n-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は前記透明基板上に ($m-2$) 層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $x^{k,k+1}$ は k 番目の層と ($k+1$) 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は前記透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【請求項 5】 請求項 1 から 4 の何れか 1 項において、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する前記ハーフトーン位相シフト層の開口部透過率を 100% としたときに、1 乃至 50% であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 6】 請求項 1 から 5 の何れか 1 項において、ハーフトーン位相シフト層が、少なくともフッ素を含むクロム化合物からなる層と、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムの中の何れか 1 つからなる層とを含むことを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 7】 請求項 1 から 6 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X 線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、フッ素原子を 100 以上含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 8】 請求項 1 から 7 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X 線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、150 以下の割合で酸素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 9】 請求項 1 から 8 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X 線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、250 以下の割合で炭素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項 10】 透明基板上のハーフトーン位相シフト層がクロム化合物を主体とする層を少なくとも 1 層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスにおいて、前記クロム化合物が、クロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 11】 請求項 10 において、前記クロム化合物が、クロム原子及びフッ素原子の他に、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素の中、少なくとも 1 つの原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 12】 請求項 10 又は請求項 11 において、前記クロム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を 0.1 以上に変化させない範囲で、クロム、フッ素、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素原子以外の不純物原子を含有することを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 13】 請求項 10 から 12 の何れか 1 項において、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下で示す式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン (n は奇数) の範囲となるように形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

$$\phi = \sum_{k=1}^{n-1} x^{k,k+1} + \sum_{k=2}^{n-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は前記透明基板上に ($m-2$) 層の多層膜が構成されているフォトマスク用ブランクスを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $x^{k,k+1}$ は k 番目の層と ($k+1$) 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は前記透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【請求項 14】 請求項 10 から 13 の何れか 1 項において、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する前記透明基板の透過率を 100% としたときに、1 乃至 50% となるような膜厚で、前記透明基板上に形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 15】 請求項 10 から 14 の何れか 1 項にお

いて、ハーフトーン位相シフト層が、少なくともフッ素を含むクロム化合物からなる層と、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムの中の何れか1つからなる層とを含むことを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 16】 請求項 10 から 15 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、フッ素原子を 100 以上含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 17】 請求項 10 から 16 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、150 以下の割合で酸素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項 18】 請求項 10 から 17 の何れか 1 項において、前記クロム化合物が、X線光電子分光法による分析値として、クロム原子を 100 としたときに、250 以下の割合で炭素原子を含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、LSI、超LSI等の高密度集積回路の製造に用いられるフォトマスク及びそのフォトマスクを製造するためのフォトマスクブランクに関し、特に、微細寸法の投影像が得られるハーフトーン位相シフトフォトマスク、この位相シフトフォトマスクを製造するためのハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスに関する。

【0002】

【従来の技術】 IC、LSI、超LSI等の半導体集積回路は、フォトマスクを使用したいわゆるリソグラフィ工程を繰り返すことによって製造されるが、特に微細寸法の形成には、例えば、特開昭 58-173744 号公報、特公昭 62-59296 号公報等に表示されているような位相シフトフォトマスクの使用が検討されている。位相シフトフォトマスクには様々な構成のものが提案されているが、その中でも、例えば米国特許第 4,890,309 号等に表示されるような、いわゆるハーフトーン位相シフトフォトマスクが早期実用化の観点から注目を集め、特開平 5-2259 号公報、特開平 5-127361 号公報等のように、製造工程数の減少による歩

留りの向上、コストの低減等が可能な構成、材料に関して、いくつかの提案がされてきている。

【0003】 ここで、ハーフトーン位相シフトフォトマスクを図面に従って簡単に説明する。図 12 はハーフトーン位相シフトリソグラフィーの原理を示す図、図 13 は従来法を示す図である。図 12 (a) 及び図 13

(a) はフォトマスクの断面図、図 12 (b) 及び図 13 (b) はフォトマスク上の光の振幅、図 12 (c) 及び図 13 (c) はウエーハ上上の光の振幅、図 12 (d) 及び図 13 (d) はウエーハ上の光強度をそれぞれ示し、101 及び 201 は基板、202 は 100% 遮光膜、102 は入射光の位相を実質的に 180 度ずらし、かつ、透過率が 1 乃至 50% である半透明膜、103 及び 203 は入射光である。従来法においては、図 13 (a) に示すように、石英ガラス等からなる基板 201 上にクロム等からなる 100% 遮光膜 202 を形成し、所望のパターンの光透過部を形成してあるだけであり、ウエーハ上での光強度分布は図 13 (d) に示すように裾広がりとなり、解像度が劣ってしまう。一方、ハーフトーン位相シフトリソグラフィーでは、半透明膜 102 を透過した光とその開口部を透過した光とでは位相が実質的に反転するので、図 12 (d) に示すように、ウエーハ上でパターン境界部での光強度が 0 になり、その裾広がりを抑えることができ、したがって、解像度を向上させることができる。

【0004】 ここで、注目すべき点は、ハーフトーン以外のタイプの位相シフトリソグラフィーでは、遮光膜と位相シフター膜とが異なるパターンであるため、最低 2 回の製版工程を必要とするのに対し、ハーフトーン位相シフトリソグラフィーでは、パターンが一つであるため、製版工程は本質的に 1 回だけでよいという点であり、これがハーフトーン位相シフトリソグラフィーの大きな長所となっている。

【0005】 とところで、ハーフトーン位相シフトフォトマスクの半透明膜 102 には、位相反転と透過率調整という 2 つの機能が要求される。この中、位相反転機能については、ハーフトーン位相シフト部を透過する露光光と、その開口部を透過する露光光との間で、位相が実質的に反転するようになっていればよい。ここで、ハーフトーン位相シフト層 102 を、例えば M. Born, E. Wolf 著「Principles of Optics」628~632 頁に示される吸収膜として扱えば、多重干渉を無視できるので、垂直透過光の位相変化

$$\phi = \sum_{k=1}^{n-1} x^{k, k+1} + \sum_{k=2}^{n-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda \quad \dots (1)$$

により計算され、 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ (n は奇数) の範囲に含まれるとき、上述の位相シフト効果が得られる。な

お、式 (1) で、 ϕ は基板上に ($m-2$) 層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受け

る位相変化であり、 $x^{(k)}$ は k 番目の層と $(k+1)$ 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_i 、 d_i はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0006】一方、ハーフトーン位相シフト効果が得られるための、ハーフトーン位相シフト部の露光光透過率は、転写パターンの寸法、面積、配置、形状等によって決定され、パターンによって異なる。実質的に、上述の効果を得るためには、ハーフトーン位相シフト部の露光光透過率を、パターンによって決まる最適透過率を中心として、最適透過率±数%の範囲内に含まれるようにしなければならない。通常、この最適透過率は、開口部を100%としたときに、転写パターンによって1乃至50%という広い範囲内で大きく変動する。すなわち、あらゆるパターンに対応するためには、様々な透過率を有するハーフトーン位相シフトフォトマスクが要求される。

【0007】実際には、位相反転機能と透過率調整機能とは、基板材料とハーフトーン位相シフト膜を構成する材料（多層の場合は、各層を構成する各材料）の複素屈折率（屈折率と消費係数）と厚さによって決定される。つまり、ハーフトーン位相シフト膜の膜厚を調整し、前記式（1）により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ （ n は奇数）の範囲に含まれるように基板上に成膜したときの露光光透過率が1乃至50%の範囲に含まれるような材料が、ハーフトーン位相シフトフォトマスクのハーフトーン位相シフト層として使える。このような材料としては、例えば特開平5-127361号公報に示されるクロム化合物を主体とする膜等が知られている。

【0008】

【発明の解決しようとする課題】ところで、上記のクロム化合物を主体とする膜は、クロムの酸化物、窒化物、酸化窒化物、酸化炭化物、酸化炭化窒化物であり、これらの膜の露光光に対する透過率は、露光光の波長によって大きく変わる。例えば、図14に、クロムターゲットの酸素雰囲気中反応性スパッタリング法により合成石英基板上に成膜された酸化クロム膜の分光透過率曲線を示す。ここで、酸化クロム膜の膜厚はおよそ50ナノメートルである。図14より明らかなように、酸化クロム膜の透過率は、短波長域で急激に落ち込む。このため、この酸化クロムをハーフトーン位相シフター層に用いたハーフトーン位相シフトフォトマスクは、高圧水銀灯のg線（436ナノメートル）、i線（365ナノメートル）の露光には使用できるものの、より高解像度が実現できるフッ化クリプトンエキシマレーザー（248ナノメートル）では、透過率が低すぎて使用できないという問題があった。また、窒化クロム膜、酸化窒化クロム膜、酸化炭化クロム膜、酸化炭化窒化クロム膜についても、同様にフッ化クリプトンエキシマレーザー露光に使

用できないため、高解像度リソグラフィーに対応できないという問題があった。

【0009】本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、短波長光に対して十分な透過率を有し、フッ化クリプトンエキシマレーザー露光等による高解像度リソグラフィーに使用可能なハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスを提供することである。

【0010】

10 【課題を解決するための手段】本発明は、上記の問題に鑑み、フッ化クリプトンエキシマレーザー光の位相を反転する膜厚に成膜したときに、その透過率がハーフトーン位相シフト層として使える範囲に含まれるようなハーフトーン位相シフト材料を開発すべく研究の結果、完成に到ったものである。

20 【0011】すなわち、本発明は、ハーフトーン位相シフト層として、少なくともフッ素原子を含むクロム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスに関する。フッ素原子を含むクロム化合物を主体とする膜は、従来のフッ素原子を含まない酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムを主体とする膜に比べて、短波長域の透過率が優れるため、透明基板上にフッ化クリプトンエキシマレーザー光の位相を反転する膜厚だけ成膜しても、ハーフトーン位相シフター膜として十分使用できる透過率を得ることが可能となる。

30 【0012】ハーフトーン位相シフトリソグラフィーでは、ハーフトーン位相シフト層を構成する膜の露光光での屈折率と消費係数を、例えば偏光解析法等により求めて、上記式（1）により求まる、露光光の位相反転するのに必要な膜厚だけ、透明基板上に成膜したときの透過率が、前記の転写パターン等から決定される最適透過率となることが求められる。フッ化クリプトンエキシマレーザー露光を想定した場合、従来のフッ素原子を含まない酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムを主体とする膜では、位相を反転する膜厚での透過率が低すぎて、ハーフトーン位相シフト層として使用できないのに対し、本発明のフッ素原子を含むクロム化合物は、含まれるフッ素原子やその他の原子の割合によって、屈折率、消費係数が変動し、位相反転するときの膜厚での露光光に対する透過率が、要求される最適透過率となるように組成を調整することができる。この場合、単層でハーフトーン位相シフト層として用いることができるが、露光光に対する透過率を要求される透過率よりも高くなるように成膜しておいてから、位相反転機能を損なわない範囲内で透過率を調整する遮光層を積層することもできる。

50 【0013】また、本発明のフッ素原子を含むクロム化合物をハーフトーン位相シフト層として用いたハーフ

ーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスは、作製後に空气中又は真空中等で150℃以上に加熱することにより、露光光に対する透過率を変えることもできる。また、空気、水蒸気等の酸化性雰囲気、あるいは、水素等の還元性雰囲気にさらすことによって、露光光に対する透過率を変えることができる。これらの場合、特にこれらのガスのプラズマにさらすことが効果が高い。

【0014】本発明のフッ素原子を含むクロム化合物を形成するためには、従来の薄膜形成技術である、スパッタリング法、真空蒸着法、イオンプレーティング法等が利用できる。

【0015】スパッタリング法によって本発明のフッ素原子を含むクロム化合物を得るためには、金属クロム又は表面をフッ素化させた金属クロムを主体とするターゲットを用い、アルゴン、ネオン、キセノン、ヘリウム、窒素等のスパッターガス単独、又は、これらのスパッターガスとフッ素、四フッ化炭素、六フッ化硫黄、三フッ化窒素、三フッ化塩素等のフッ素源となるガスとを組み合わせた雰囲気中で、直流又は高周波放電によりスパッター成膜する。このとき、必要に応じて、酸素、窒素、炭酸ガス等の酸素源、窒素源、炭素源となるガスを混合することもできる。ここで、雰囲気ガスの組成、圧力、スパッター電力等の成膜条件を変えることにより、膜の組成、組織、構造等を変え、屈折率、消衰係数を調整することができる。

【0016】真空蒸着法によって本発明のフッ素原子を含むクロム化合物膜を得るためには、タングステン製バスケット、タングステンメッキされたコイル又はポート、カーボンるつぼ等による抵抗加熱法、又は、電子線照射によるいわゆるEB蒸着法により、金属クロム、又は、予めフッ素化させたクロムを蒸着源として用いる。この際、フッ素、四フッ化炭素及びその他のフッ化炭素化合物、六フッ化硫黄及びその他のフッ化硫黄化合物、三フッ化窒素、三フッ化塩素等のフッ素源となるガスと、必要に応じて、酸素、窒素、炭酸ガス等の酸素源、窒素源、炭素源となるガスとの混合ガスを雰囲気とすることができる。この場合も、蒸着条件を変えることにより、膜の組成、組織、構造等を変え、屈折率、消衰係数を調整することができる。

【0017】さらに、イオンプレーティング法によって本発明のフッ素原子を含むクロム化合物膜を得るためには、金属クロム、又は、予めフッ素化させたクロムを蒸発源として用い、フッ素、四フッ化炭素、六フッ化硫黄、三フッ化窒素、三フッ化塩素等のフッ素源となるガスと、必要に応じて、酸素、窒素、炭酸ガス等の酸素源、窒素源、炭素源となるガスとの混合ガスを雰囲気とすればよい。この場合も、成膜条件により、屈折率、消衰係数を調整することができる。

【0018】ここで、一例として、金属クロムをターゲ

ットに用いて、アルゴンガスとフッ素源となる四フッ化炭素ガスとの混合ガスによる反応性直流(DC)スパッタリング法により、本発明のフッ素原子を含むクロム化合物膜を成膜する場合について、詳細に説明する。

【0019】よく洗浄したシリコンウエーハー上に、アルゴンガスと四フッ化炭素ガスとの流量比を変化させて成膜した膜の屈折率と消衰係数とを、市販の分光エリプソメーターで測定し、例えば、露光光としてフッ化クリプトンエキシマレーザー光(波長248nm)、基板を合成石英として、露光光の位相を180度ずらすときの膜厚を計算する。実際に、フォトマスク用合成石英基板上にこの膜厚だけ成膜したときの露光光の透過率が1から50%の範囲に含まれていれば、ハーフトーン位相シフト膜として使用できることになる。

【0020】ここで、通常のプレーナー型直流マグネトロンスパッタリング装置を用い、ガス圧を4ミリトル、ガス流量を、アルゴンガスと四フッ化炭素ガスと併せて100sccmとし、スパッター電流密度を0.01アンペア/平方センチメートルとしたときの、アルゴンガス：四フッ化炭素ガス流量比を、100:0、90:10、80:20、78:22、76:24、74:26、72:28、65:35での、250nm波長における屈折率と消衰係数の測定結果を図8に示す。なお、ここで、分光エリプソメーターは、ソブラ社製ES-4Gを用い、光学定数の計算には、同社製ソフトウェア-MOSSを用いた。また、図9に、各ガス流量比の膜について、前記の式(1)により求まる250nmの露光光の位相を180度ずらすために必要な膜厚を示す。この必要な膜厚はガス流量比によって変るものの、120から220nmの膜厚で波長250nmの露光光の位相が反転することが分かる。

【0021】一方、図10に、各ガス流量比の膜を90ミル厚のフォトマスク用合成石英基板上に約170nm成膜したときの250nm光の透過率を示す。透過率測定には、分光光度計(ヒューレットパッカード社製HP8450A)を用い、空気をレファレンスとした。図9と図10から、ハーフトーン位相シフト膜として使用可能なフッ素原子を含むクロム化合物は、前記の成膜条件の場合、アルゴンガスと四フッ化炭素ガスとの流量比が、少なくとも90:10よりも四フッ化炭素ガスが多い領域であることが分かる。

【0022】次に、各流量比で成膜した膜の、X線光電子分光法(XPS)によるクロム、フッ素、炭素、酸素の組成比を図11に示す。ここで、膜中に含まれる元素として分析されるのは、クロム、フッ素、炭素、酸素であった。そこで、クロム原子を100としたときの、フッ素原子の存在数を図11(a)に、炭素原子の存在数を図11(b)に、酸素原子の存在数を図11(c)にそれぞれ示す。また、X線光電子分光法による組成分析は後記の条件で行った。図11、及び、図9、図10に

示される通り、膜中のフッ素原子の含有量が増すにつれて、位相反転するときの露光光透過率は上昇する。一般的に、ハーフトーン位相シフト効果を得るためには、1から50%の露光光透過率が要求されるが、本発明のクロム化合物が適正なハーフトーン位相シフト材料となるためには、特に、膜中のフッ素原子の含有量を、クロム原子100に対して100以上にする必要があることが分かる。クロム原子100に対して、フッ素原子が100未満である場合、図10、図11より明らかなように、膜は金属膜に近い遮光膜となってしまう、露光光の位相を反転する膜厚だけ成膜すると、露光光をほとんど透過しなくなってしまう、ハーフトーン位相シフトの効果が得られなくなってしまう。また、クロム原子100に対して、フッ素原子を350以上含む膜は、そのままではハーフトーン位相シフト効果が得られないものの、位相変化量を大きく変えない範囲で遮光性の高い膜と積層すれば、ハーフトーン位相シフト膜として使用できる。

【0023】次に、図11(b)、(c)に示す通り、炭素原子、酸素原子は、フッ素原子のようなハーフトーン位相シフト機能とのはっきりとした相関はない。上記の条件で成膜されるクロム化合物は、図11に示される通り、クロム原子100に対し炭素原子を250以下、酸素原子を150以下含有しているが、これらの含有量は、上記のフッ素原子の含有量のようにハーフトーン位相シフト膜に要求される特性と明確な関連は見出せない。ここで、炭素原子は、スパッタリングの際の四フッ化炭素ガスから供給されていることが考えられるが、同時に、成膜雰囲気、分析中の雰囲気等からのコンタミネーションである可能性が考えられる。特に、真空中では、真空ポンプ等による汚染は十分に考えられる。また、酸素原子は、上記条件の場合、スパッタリング中に積極的に供給していないので、成膜装置のリーク、あるいは、成膜後、分析中の酸化が考えられる。何れにしても、図8～図11から明らかなように、炭素原子、酸素原子の含有量がクロム原子100に対して、それぞれ、250以下、150以下であれば、ハーフトーン位相シフト膜として十分に使用できる。

【0024】また、ここで示す成膜条件では、ハーフトーン位相シフト膜として使用できるフッ素原子を含むク

ロム化合物は、上記の通り、アルゴンガス：四フッ化炭素ガス流量比が、少なくとも90：10よりも四フッ化炭素ガスが多い領域であるが、これは、成膜条件、成膜装置により、一般的に異なる。しかしながら、どのような成膜条件、成膜装置を使っても、特にクロム原子とフッ素原子との組成比が、クロム原子を100としたときに、フッ素原子が100以上であるときだけ、ハーフトーン位相シフト効果が得られる化合物膜が得られる。また、同様に、アルゴン／四フッ化炭素混合ガス以外のガスを用いたスパッタリング成膜の場合においても、また、スパッタリング以外の成膜法による場合においても、クロム原子とフッ素原子とが上記の組成範囲に含まれれば、ハーフトーン位相シフト層に適應できる。また、炭素原子、酸素原子は、クロム原子100に対して、それぞれ250以下、150以下であれば問題がない。

【0025】さらに、以上は、露光光としてフッ化クリプトンエキシマレーザーを想定した場合について述べたが、この他の遠紫外波長域の露光光の場合も同様である。また、上記の組成範囲に含まれれば、水銀灯のg線(436nm)、i線(365nm)等、紫外から可視域の波長の露光にも使用できる。

【0026】ここで、本発明において、上記のX線光電子分光分析は以下の通り行った。

【0027】X線光電子分光装置は、VG SCIENTIFIC社製ESCALAB210を用いた。ESCALAB210の電子エネルギー分析器は150度同心半球型アナライザーで、5チャンネルトロンを用いて、X線光電子スペクトルを測定した。

【0028】データ処理部は、DEC Micro PDP11/53で、VGS DATA SYSTEM VGS5250 Version Jan. 1992のソフトウェアを用いて定量計算等を行った。

【0029】この装置のANALYZER WORK FUNCTIONは、4.63eVであった。この装置の基本性能は、励起X線源としてMgK α (1253.60eV)を用い、400Wで測定したとき、Agの3d5/2ピークで次の表のようになる。

【0030】

| エネルギー分解能 (eV) | 0.82 | 0.86 | 1.00 | 1.50 |
|----------------------------|------|------|------|------|
| 感度 (kcps/mm ²) | 35 | 120 | 330 | 860 |

測定条件は、以下の通りである。

【0031】X線源は、AlK α 線1486.60eVの励起線を用い、300Wで測定した。X線の入射角は、試料法線から約60度、検出器は試料に対して法線上に配置してある。

【0032】真空度の測定は、MILLENNIA SERIES IPGC1を用いた。真空度は 5×10^{-10} mbar以上 1×10^{-11} mbar以下であった。排気系は、Perkin-Elmer製イオンポンプ207-0230(2201/s)、及び、DIGITELE50

0 コントローラーによる。

【0033】分析領域は、約1mmφ以下の領域とした。XPSスペクトルは、結合エネルギー毎に分けて測定した。ワイドスキャンは1100eV~0eV (B. E.)、Cr 2pは620~570eV (B. E.)、F 1sは670~710eV (B. E.)、O 1sは560~520eV (B. E.)、C 1sは320~270eV (B. E.)で測定した。

【0034】各測定とも、CAEモードで測定し、ワイドスキャンのときは、Pass Energy 100eV、1eVステップ、スキャン回数3で、それ以外の場合は、Pass Energy 20eV、0.1eVステップ、スキャン回数3で測定した。Channel Timeは何れも50msであった。

【0035】本測定では、これらの測定条件を採用したが、これは一例にすぎず、一般的な装置では、帯電量を考慮し、分解能、感度を著しく損なわない実用上十分な範囲で測定することが可能である。

【0036】元素組成定量計算手順は、次の通りである。バックグラウンドの差し引きは、ソフトウェア中のShirley型を用い、バックグラウンドの決定には、主ピークのサテライトの影響等を受けないように、最も自然なピーク形状になるように十分に考慮した。定量計算には、同じくソフトウェア中のScofieldの相対感度係数を基に、測定によって得られたピーク面積を相対感度係数で除したのから、各元素の組成比を計算した。構成元素の組成比は、計算された組成比がエッチング時間によらずほぼ一定となったときの値を採用した。Scofield相対感度係数は、フッ素が4.26、炭素が1.00、酸素が2.85、クロムが7.60である。

【0037】エッチング条件は、次の通りである。イオン銃EXO5差動排気型二段静電レンズ付き電子衝撃型イオン銃を用い、コントローラーとして400X GUN SUPPLYユニットを用い、PHYSICAL IMAGE UNITの倍率を1として用いた。試料電流の測定には、626 SAMPLE CURRENT METERを用いた。

【0038】真空度は 1×10^{-1} mbar~ 1×10^{-4} mbarの範囲で、試料電流が $-0.5 \mu A \sim -1.5 \mu A$ 程度の範囲でエッチングを行った。FILAMENT電流は約2.4A、EMISSION電流は5~10mA、SOURCE ENERGYは3~5kVであった。エッチングガスとしてアルゴンガスを用いた。

【0039】エッチング時間は、基板のエッチングレートにより異なり、検出された元素の存在比率がほぼ一定とみなせるまでエッチングとXPSスペクトル測定を交互に行った。電子銃を用いた帯電補正は行わなかった。本発明における上記測定条件、エッチング条件は一例にすぎず、一般的に、感度、分解能を損なわない範囲内な

らば、同等のスペクトル品質での測定が可能である。

【0040】さて、本発明の説明に戻って、本発明のフッ素原子を含むクロム化合物を単層でハーフトーン位相シフト層とした場合、クロム原子を母材としているために、従来型のフォトマスクの遮光膜とほとんど同じ方法でパターンニングができ、また、多層膜でハーフトーン位相シフト層を構成する場合も、透過率を調整する遮光層として、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロム等を用いると、従来とほぼ同じ方法で1回のパターンニング工程で製版できる。このため、歩留りの向上、コストの低減が実現できる。

【0041】以上説明したように、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスクは、透明基板上的ハーフトーン位相シフト層がクロム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスクにおいて、前記クロム化合物が、クロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であることを特徴とするものである。

【0042】この場合、クロム化合物が、クロム原子及びフッ素原子の他に、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素の中、少なくとも1つの原子を含む化合物であってもよい。さらに、クロム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上に変化させない範囲で、クロム、フッ素、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素原子以外の不純物原子を含有していてもよい。また、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下で示す式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン (n は奇数)の範囲となるように形成されていることが望ましい。

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} x^{k, k+1} + \sum_{k=2}^{m-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は透明基板上に $(m-2)$ 層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $x^{k, k+1}$ は k 番目の層と $(k+1)$ 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0043】また、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対するハーフトーン位相シフト層の開口部透過率を100%としたときに、1乃至50%であることが望ましい。さらに、ハーフトーン位相シフト層が、少なくともフッ素を含むクロム化合物からなる層と、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムの中の何れか1つからなる層とを含んでいてもよい。

【0044】また、上記のクロム化合物は、X線光電子分光法による分析値として、クロム原子を100とした

10

20

30

40

50

ときに、フッ素原子を100以上含む化合物であることが望ましく、また、150以下の割合で酸素原子を含む化合物であることが望ましく、さらには、250以下の割合で炭素原子を含む化合物であることが望ましい。

【0045】また、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスは、透明基板上のハーフトーン位相シフト層がクロム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスにおいて、前記クロム化合物が、クロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であることを特徴とするものである。

【0046】この場合、クロム化合物が、クロム原子及びフッ素原子の他に、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素の中、少なくとも1つの原子を含む化合物であってもよい。さらに、クロム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上に変化させない範囲で、クロム、フッ素、酸素、炭素、硫黄、窒素、水素原子以外の不純物原子を含有していてもよい。また、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下で示す式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン (n は奇数)の範囲となるように形成されていることが望ましい。

$$\phi = \sum_{k=1}^{n-1} x^{k,k+1} + \sum_{k=2}^{n-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は透明基板上に $(m-2)$ 層の多層膜が構成されているフォトマスク用ブランクスを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $x^{k,k+1}$ は k 番目の層と $(k+1)$ 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0047】また、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する透明基板の透過率を100%としたときに、1乃至50%となるような膜厚で、透明基板上に形成されていることが望ましい。さらに、ハーフトーン位相シフト層が、少なくともフッ素を含むクロム化合物からなる層と、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、酸化炭化クロム、酸化炭化窒化クロムの中の何れか1つからなる層とを含んでいてもよい。

【0048】また、上記のクロム化合物は、X線光電子分光法による分析値として、クロム原子を100としたときに、フッ素原子を100以上含む化合物であることが望ましく、また、150以下の割合で酸素原子を含む化合物であることが望ましく、さらには、250以下の割合で炭素原子を含む化合物であることが望ましい。

【0049】

【作用】本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス

においては、ハーフトーン位相シフト層に使用するクロム化合物を主体とする層がクロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であるので、短波長露光でも所定以上の透過率が得られ、フッ化クリプトンエキシマレーザ露光等にも使用できるため、高解像度リソグラフィが実現できる。また、従来型フォトマスクとほとんど同じ方法でマスク化できるため、歩留りの向上、コストの低減が実現できる。

【0050】

【実施例】以下、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスの実施例について説明する。

【実施例1】本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスの実施例を図1に従って説明する。同図(a)に示すように、鏡面研磨されたシリコンウエーハー401上に、スパッタリング法で、以下に示す通りの条件で、クロム化合物膜402を約30nmの厚さに成膜し、偏光解析用サンプル407を得た。

【0051】成膜装置 : プレーナー型DCマグ

ネトロンスパッター装置

ターゲット : 金属クロム

ガス及び流量 : アルゴンガス76sccm+六フッ化硫黄ガス24sccm

スパッター圧力 : 約3ミリトル

スパッター電流 : 6アンペア

次に、市販の分光エリプソメーター(ソブラ社製ES-4G)で、このサンプル407のKrFエキシマレーザ波長(248nm)での屈折率 u 及び消光係数 k を測定したところ、それぞれ $u=1.996$ 、 $k=0.437$ であった。これを、前記のM. Born, E. Wolf著「Principles of Optics」628~632頁に示される金属膜として扱い、フォトマスクの基板として使われる高純度合成石英上に成膜したときに、248nmの波長の透過光の位相を180度ずらすために必要な膜厚を計算したところ、130nmであった。

【0052】そこで、図1(b)に示すように、光学研磨され、よく洗浄された高純度合成石英基板403上に上述の成膜条件でクロム化合物膜404を約130nm成膜したところ、波長248nmの光の透過率がおよそ5%である本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス408を得た。このブランクス分光透過率曲線を図5に示す。

【0053】【実施例2】本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスクの実施例を図2の製造工程図に従って説明する。図2(a)に示すように、実施例1で得たブランクス501上に、常法の電子線リソグラフィ法又はフォトリソグラフィ法により、有機物を主成分とする所望のレジストパターン502を得た。次に、同図(b)に示すように、レジストパターンから露出された

半透明膜を、 $\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 1 : 2.5$ の混合ガス、圧力 0.3 トールの条件で高周波プラズマ中にさらすことによって、選択的にドライエッチングを行い、所望の半透明膜パターン 503 を得た。最後に、残ったレジスト 504 を常法により剥離し、同図 (c) に示すように、ハーフトーン位相シフト部の波長 248 nm 光の透過率が 5 % であるハーフトーン位相シフトフォトマスク 505 を得た。なお、このハーフトーン位相シフトフォトマスク 505 は、除去された部分の寸法精度、断面形状、膜厚分布、透過率分布、膜の基板への密着性等全

【0054】〔実施例 3〕本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスクの別の実施例を以下に説明する。実施例 2 と同様にして得られたハーフトーン位相シフトフォトマスクを、空気雰囲気の対流式オープン中で 200℃ で 1 時間加熱したところ、ハーフトーン位相シフト部の波長 248 nm 光透過率は約 5 % から約 8 % へと変わった。このハーフトーン位相シフトフォトマスクも、透過率変化のどの過程においても、除去された部分の寸法精度、断面形状、膜厚分布、透過率分布、膜の基板への密着性等全て実用に供することができるものであった。

【0055】〔実施例 4〕本発明の単層ハーフトーン位相シフトフォトマスクのさらに別の実施例を図 3 の製造工程図に従って説明する。図 3 (a) に示すように、鏡面研磨されたシリコンウエーハー 1401 上に、スパッタリング法で、以下に示す通りの条件で、フッ素原子を含むクロム化合物膜 1402 を約 50 nm の厚さに成膜し、偏光解折用サンプル 1407 を得た。

【0056】成膜装置 : ブレーナー型 DC マグネトロンスパッター装置

ターゲット : 金属クロム

ガス及び流量 : アルゴンガス 7.6 sccm + 四フッ化炭酸ガス 2.4 sccm

スパッター圧力 : 約 4 ミリトール

スパッター電流 : 6 アンペア

次に、市販の分光エリブソメーター (ソプラ社製 ES-4G) で、このサンプル 1407 の波長 250 nm での屈折率 n 及び消衰係数 k を測定したところ、それぞれ $n = 1.678$ 、 $k = 0.169$ であった。これを、前記の M. Born, E. Wolf 著「Principles of Optics」628~632 頁に示される金属膜として扱い、フォトマスクの基板として使われる高純度合成石英上に成膜したときに、250 nm の波長の透過光の位相を 180 度ずらすために必要な膜厚を計算したところ、185 nm であった。

【0057】そこで、図 3 (b) に示すように、光学研磨され、よく洗浄された高純度合成石英基板 1403 上に上述の成膜条件でクロム化合物膜 1404 を約 180 nm 成膜したところ、波長 250 nm の光の透過率がおよそ 10.5 % である本発明の単層ハーフトーン位相シ

フトフォトマスク用ブランクス 1408 を得た。このブランクス の分光透過率曲線を図 6 に示す。

【0058】このブランクス上に、常法の電子線リソグラフィ法又はフォトリソグラフィ法により、同図 (c) に示すように、有機物を主成分とする所望のレジストパターン 1405 を得た。次に、同図 (d) に示すように、レジストパターンから露出された半透明膜を、 $\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 1 : 2.5$ の混合ガス、圧力 0.3 トールの条件で高周波プラズマ中にさらすことによって、選択的にドライエッチングを行い、所望の半透明膜パターン 1406 を得た。このとき、クロム化合物膜のエッチング速度は、約 0.6 nm/sec であった。最後に、残ったレジストを常法により剥離し、同図 (e) に示すように、本発明の単層ハーフトーン位相シフトフォトマスク 1409 を得た。

【0059】この単層ハーフトーン位相シフトフォトマスクも、除去された部分の寸法精度、断面形状、膜厚分布、透過率分布、膜の基板への密着性等全て実用に供することができるものであった。

【0060】〔実施例 5〕本発明の多層ハーフトーン位相シフトフォトマスクの実施例を図 4 の製造工程図に従って説明する。図 4 (a) に示すように、フォトマスク用合成石英基板 1601 上に、スパッタリング法で、以下に示す通りの条件で、金属クロム膜 1602 を約 40 nm の厚さに成膜した。

【0061】成膜装置 : ブレーナー型 DC マグネトロンスパッター装置

ターゲット : 金属クロム

ガス及び流量 : アルゴンガス 10.0 sccm

30 スパッター圧力 : 約 3 ミリトール

スパッター電流 : 6 アンペア

次に、この上に、実施例 4 と同条件、同膜厚のフッ素原子を含むクロム化合物膜 1603 を成膜し、本発明の多層ハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス 1604 を得た。このブランクス の分光透過率曲線を図 7 に示す。このブランクス の波長 248 nm における透過率は 5.5 % であった。

【0062】このブランクス上に、常法の電子線リソグラフィ法又はフォトリソグラフィ法により、同図 (b) に示すように、有機物を主成分とする所望のレジストパターン 1605 を得た。次に、同図 (c) に示すように、レジストパターンから露出された多層ハーフトーン位相シフト膜を、 $\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 1 : 2.5$ の混合ガス、圧力 0.3 トールの条件で高周波プラズマ中にさらすことによって、選択的にドライエッチングを一気に行い、所望の半透明膜パターン 1606 を得た。最後に、残ったレジストを常法により剥離し、同図 (d) に示すように、本発明の多層ハーフトーン位相シフトフォトマスク 1607 を得た。

50 【0063】フッ素原子を含むクロム化合物膜 1603

は、金属クロム膜 1 6 0 2 とは同じクロム原子を母体としているので、エッチング特性はほとんど同じであるため、この多層ハーフトーン位相シフトフォトマスクのパターン加工特性は、実施例 4 に示すような単層ハーフトーン位相シフトフォトマスクとほぼ同じである。

【 0 0 6 4 】 この多層ハーフトーン位相シフトフォトマスクも、寸法精度、断面形状、膜厚分布、透過率分布、膜の基板への密着性等全て実用に供することができるものであった。

【 0 0 6 5 】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスによると、ハーフトーン位相シフト層に使用するクロム化合物を主体とする層がクロム原子の他に少なくともフッ素原子を含む化合物であるので、短波長露光でも所定以上の透過率が得られ、フッ化クリプトンエキシマレーザー露光等にも使用できるため、高解像度リソグラフィーが実現できる。また、従来型フォトマスクとほとんど同じ方法でマスク化できるため、歩留りの向上、コストの低減が実現

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスを得る過程を説明するための図である。

【図 2】実施例 2 のハーフトーン位相シフトフォトマスクの製造工程図である。

【図 3】実施例 4 のハーフトーン位相シフトフォトマスクの製造工程図である。

【図 4】実施例 5 のハーフトーン位相シフトフォトマスクの製造工程図である。

【図 5】実施例 1 のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクの分光透過率曲線を示す図である。

【図 6】実施例 4 のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクの分光透過率曲線を示す図である。

【図 7】実施例 5 のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクの分光透過率曲線を示す図である。

【図 8】スパッタリングガス流量比を変えたときの屈折率と消費係数の測定値を示す図である。

【図 9】スパッタリングガス流量比を変えたときの位相反転する膜厚を示す図である。

【図 10】スパッタリングガス流量比を変えたときの透過率を示す図である。

【図 11】スパッタリングガス流量比を変えたときのフッ素原子、炭素原子、酸素原子のクロム原子に対する相対存在数を示す図である。

【図 12】ハーフトーン位相シフトリソグラフィーの原理を示す図である。

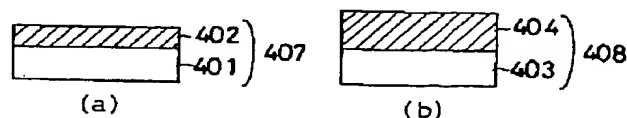
【図 13】従来法を示す図である。

【図 14】酸化クロム膜の分光透過率曲線を示す図である。

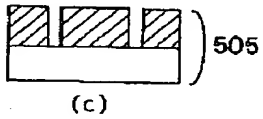
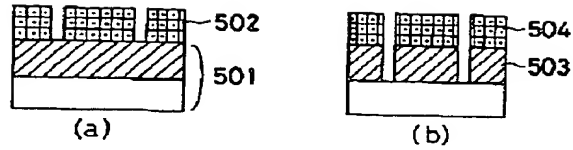
【符号の説明】

- 10 1 0 1、2 0 1…基板
1 0 2…位相反転半透明膜
1 0 3、2 0 3…入射光
2 0 2…遮光膜
4 0 1…シリコンウエーハー
4 0 2…クロム化合物膜
4 0 3…高純度合成石英基板
4 0 4…クロム化合物膜
4 0 7…偏光解折用サンプル
4 0 8…ハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス
20 5 0 1…ブランクス
5 0 2…レジストパターン
5 0 3…半透明膜パターン
5 0 4…レジスト
5 0 5…ハーフトーン位相シフトフォトマスク
1 4 0 1…シリコンウエーハー
1 4 0 2…クロム化合物膜
1 4 0 3…高純度合成石英基板
1 4 0 4…クロム化合物膜
30 1 4 0 5…レジストパターン
1 4 0 6…半透明膜パターン
1 4 0 7…偏光解折用サンプル
1 4 0 8…ハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス
1 4 0 9…ハーフトーン位相シフトフォトマスク
1 6 0 1…フォトマスク用合成石英基板
1 6 0 2…金属クロム膜
1 6 0 3…クロム化合物膜
1 6 0 4…ハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス
40 1 6 0 5…レジストパターン
1 6 0 6…半透明膜パターン
1 6 0 7…ハーフトーン位相シフトフォトマスク

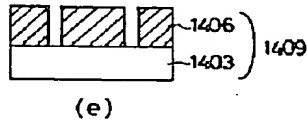
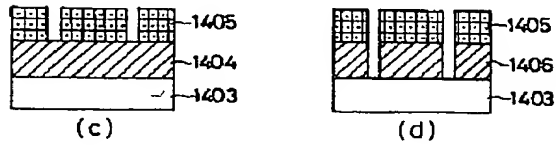
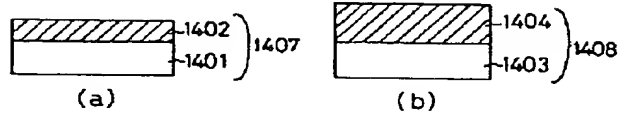
【図 1】



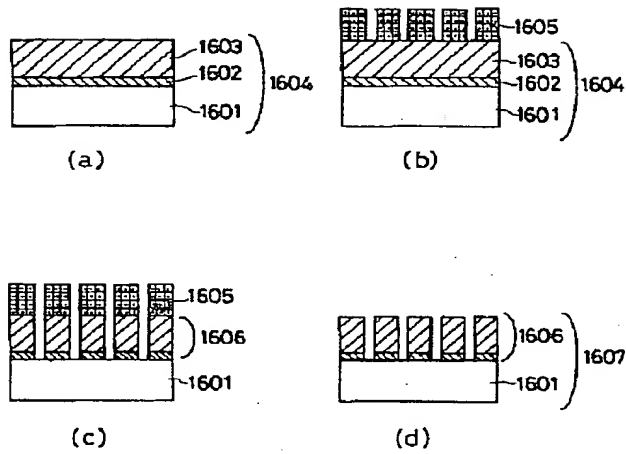
【 図 2 】



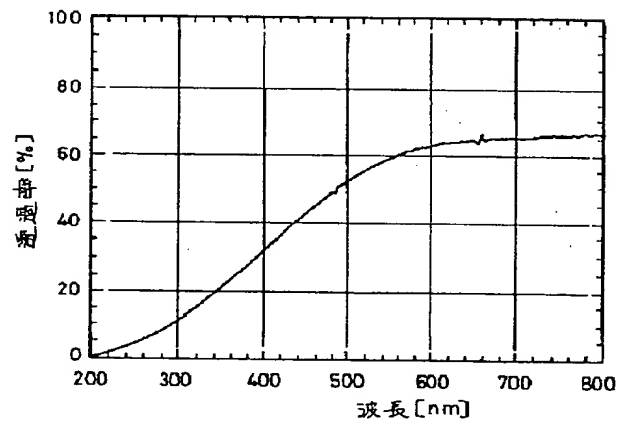
【 図 3 】



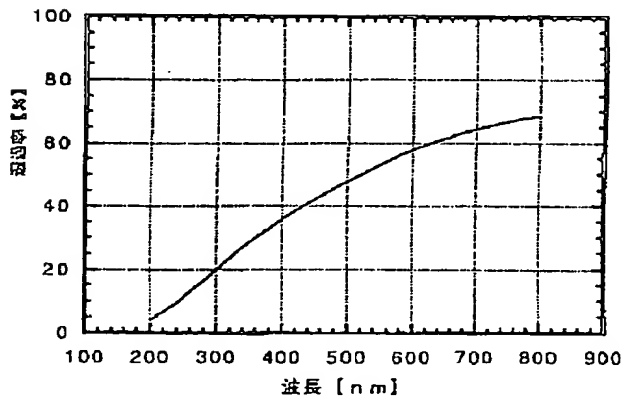
【 図 4 】



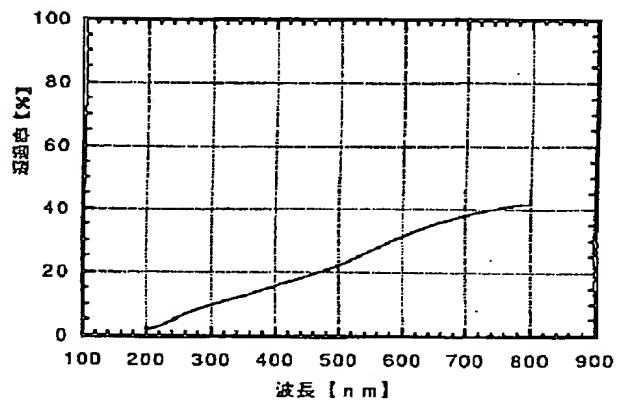
【 図 5 】



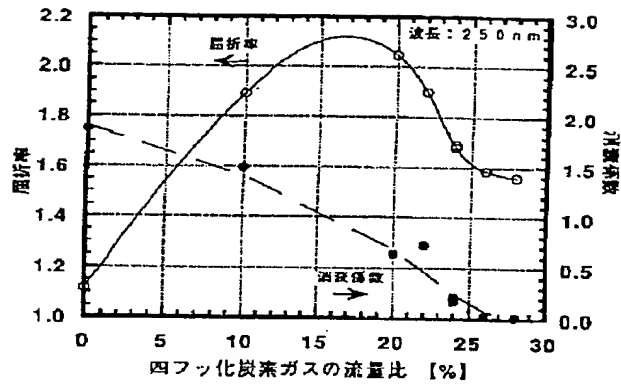
【 図 6 】



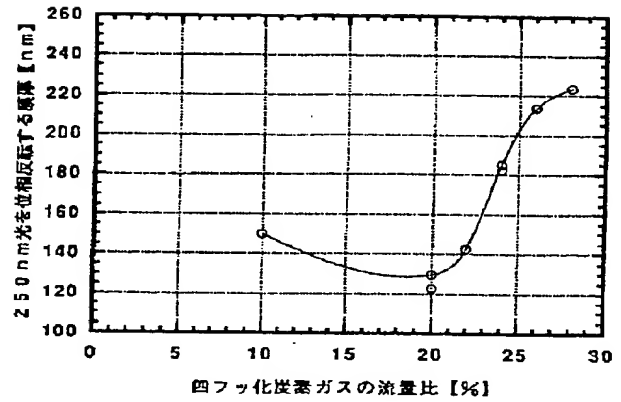
【 図 7 】



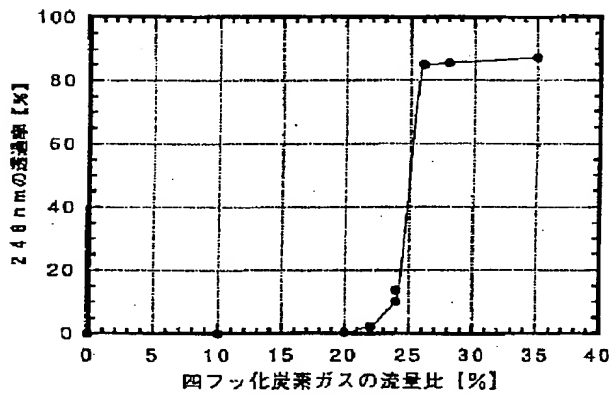
【図 8】



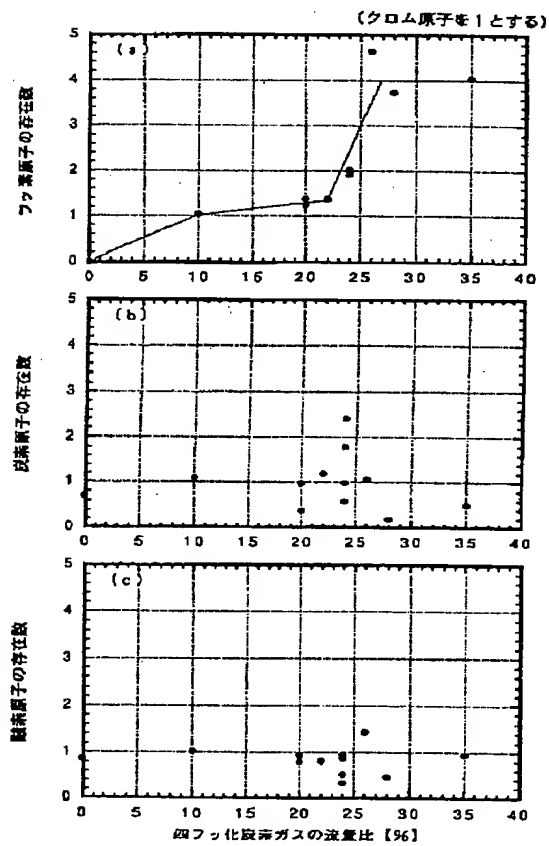
【図 9】



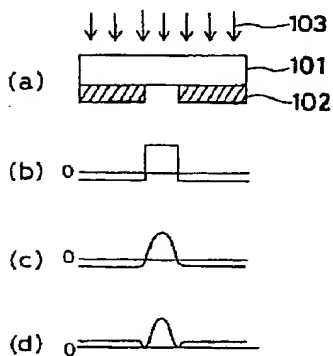
【図 10】



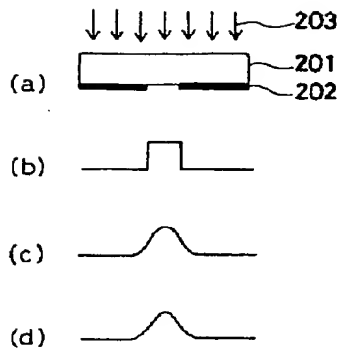
【図 11】



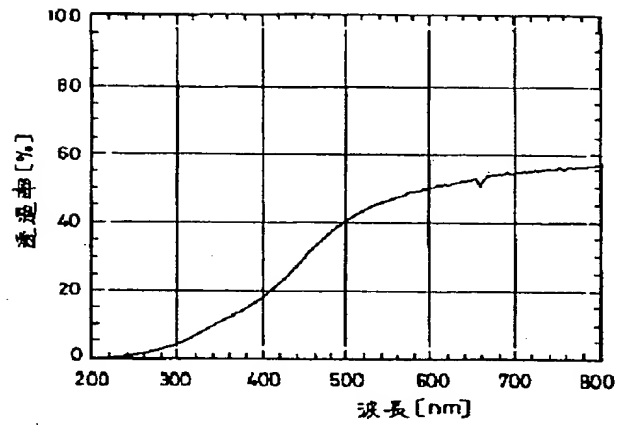
【図 12】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72) 発明者 林 直也

東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号大
日本印刷株式会社内